

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԵՎԱՆԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆ ԱՆՆԱ ԳՐԻԳՈՐԻԻ

ՈԱԴԻՈՒԿՈՒԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
ԵՐԵՎԱՆ ՔԱՂԱՔԻ ՏԱՐԱԾՔՈՒՄ
«ՄՅԵՆՈՒՐՏԱՅԻՆ ՏԵՂՈՒՄՆԵՐ – ՀՈՂ – ԲՈՒՅՍ» ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ

Ի 7.00.23 – “Երկրաբնապահպանություն” մասնագիտությամբ
երկրաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսության
ՍԵՂԱԿԻ

ԵՐԵՎԱՆ - 2005

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

НАЛБАНДЯН Анна Григорьевна

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ
“АТМОСФЕРНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ – ПОЧВЫ – РАСТЕНИЯ”
НА ТЕРРИТОРИИ г. ЕРЕВАНА

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геологических наук
по специальности 24.00.23 – “Геоэкология”

ЕРЕВАН – 2005

Уважаемому
Григору Вардановичу
с наилучшими пожеланиями
от автора
17.05.05

Ատենախոսության բեման հաստատվել է
ՀՀ ԳԱԱ էկոլոգամոնոֆերային հետազոտությունների կենտրոնում

Գիտական ղեկավար՝ *կենսաբանական գիտությունների դոկտոր Վ.Լ. Անանյան*

Պաշտոնական ղեկավար՝ *ՀՀ ԳԱԱ և ՌԲԳ Ակադեմիայի ակադեմիկոս, պրոֆեսոր, երկրաբանա-հանքաբանական գիտ. դոկտոր Ս.Վ. Գրիգորյան*
ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտ. թեկնածու Կ.Ի. Փյունյույան

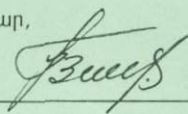
Առաջատար կազմակերպություն՝ *ՀՀ ԳԱԱ Հ.Խ. Բունիաթյանի անվ. կենսաքիմիայի ինստիտուտ*

Պաշտպանությունը կայանալու է՝ 2005թ. հունիսի « 29 » –ին, ժամը 13⁰⁰ -ին
ՀՀ ԳԱԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի 054 մասնագիտական
խորհրդի նիստում: Հասցեն՝ 375014, Երևան, Մարշալ Բաղրամյան պ., 24ա:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ-ի գրադարանում:

Անդամագիրն առաքված է՝ « 19 » մայիսի 2005 թ.:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
երկրաբանա-հանքաբանական գիտ. թեկնածու՝



Վ.Վ. Շախինյան

Тема диссертации утверждена
в Центре эколого-ноосферных исследований НАН РА

Научный руководитель: *доктор биологических наук В.Л. Ананян*

Официальные оппоненты: *Академик НАН РА и РАЕН, профессор, доктор геолого-минералогических наук С.В. Григорян*
кандидат физико-математических наук К.И. Пюскюлян

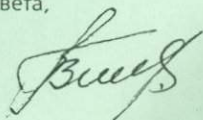
Ведущая организация: *Институт биохимии им. Г.Х. Бунятыяна НАН РА*

Защита состоится " 29 " июня 2005 г. в " 13⁰⁰ " ч. на заседании Специализированного совета 054 Института геологических наук НАН РА.
Адрес: 375014, Ереван, пр. Маршала Баграмяна 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат разослан " 19 " мая 2005 г.

Учёный секретарь Специализированного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



Г.В. Шагинян

1. Выявлена тенденция к снижению уровня суммарной β -радиоактивности в атмосферных выпадениях (1969-2001гг.), почвенном (1990-2002гг.) и растительном (2000-2003гг.) покрове г.Еревана, а также понижение содержания в них искусственных радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr).
2. Радионуклидный состав в системе "атмосферные выпадения – почвы – растения" на территории г. Еревана в основном представлен радионуклидами ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{90}Sr .
3. Показатель суммарной β -радиоактивности служит интегративным индикатором радиоактивного загрязнения отдельных сред экосистемы города. Определение этого показателя может применяться в качестве экспресс-метода при радиоэкологической экспертизе территории.

Научная новизна. Впервые на территории г.Еревана проведены комплексные радиоэкологические исследования, в результате которых:

- проведена комплексная оценка радиоактивности в системе "атмосферные выпадения – почвы – растения";
- выявлены тенденция и динамика пространственно-временного распределения радионуклидов в атмосферных выпадениях г.Еревана за период 1969-2001гг. и в почвенном покрове за период 1990-2002 гг.;
- составлены карты распределения суммарной β -радиоактивности почвенного покрова на территории г.Еревана (М 1:10000).

Научная и практическая значимость. Составленная по суммарной β -радиоактивности карта загрязнения почвенного покрова г.Еревана (М 1:10000) включена в новый генплан г.Еревана (2003г.). Изложенные в диссертации положения и выводы могут быть использованы в следующих целях:

- для разработки и организации мероприятий по радиоэкологическому мониторингу урбанизированных территорий;
- разработанная методика радиоэкологической оценки, с применением показателя суммарной β -радиоактивности, может быть использована для проведения экспрессной радиологической экспертизы: в короткие сроки и с минимальными затратами на инструментальные измерения уровня радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды.

Фактический материал. Работа выполнена в Центре эколого-ноосферных исследований НАН РА. Изложенные в диссертации результаты исследований получены при выполнении с непосредственным участием автора трех научно-исследовательских госбюджетных тем: №98-93 "Изучение изменения динамики радиоактивности в системе почва – растение" (1997-2001гг.), №01-411 "Радиоэкологическая оценка и мониторинг Араратской равнины" (2001г.), №0158 "Исследование естественной и техногенной радиоактивности Араратской равнины" (2002-2004гг.). В работе использованы анализ для определения суммарной β -радиоактивности – 408 проб атмосферных выпадений, 847 проб почв, 19 проб растений; β -спектрометрический анализ ^{90}Sr – 15 проб почв, 9 проб растений; радиохимический анализ ^{90}Sr – 180 проб атмосферных выпадений; γ -спектрометрический анализ – 4 пробы атмосферных выпадений, 25 проб почв, 22 пробы растений; химический анализ К – 10 проб растений; программное обеспечение Genie-2000; программные пакеты GIS ArcView 3.2 и Surfer 6.04. Автором непосредственно выполнены

полевые работы по отбору проб атмосферных выпадений, почв и растений (1998-2003) и их подготовке к анализам; анализ суммарной β -радиоактивности, γ -спектрометрический анализ, β -спектрометрический анализ; обработка спектров, статистический анализ; составление баз данных и компьютерных карт радиоактивности почв.

Апробация. Результаты исследований доложены на II межд. совещ. "Геохимия биосферы" (Новороссийск, 1999); республ. науч.-практ. конф. "Перспективы экологической науки на рубеже XXI века" (Ереван, 2000); межд. конф. "Современные проблемы радиобиологии, радиэкологии и эволюции" (Дубна, 2000); межд. экологич. симпозиум "Перспективные информационные технологии и проблемы управления рисками на пороге нового тысячелетия" (С.-Петербург, 2000); межд. семинаре "Конверсионный потенциал Армении и программы МНТЦ" (Ереван, 2000); IV межд. экологич. конф. студентов и молодых ученых "Роль науки и образования для устойчивого развития на пороге 3-го тысячелетия" (Москва, 2000); II республ. молод. науч. конф. "XXI век: экологическая наука в Армении" (Ереван, 2001); межд. конф. "Радиоактивность окружающей среды" (Монако, 2002); III республ. молод. конф. "XXI век: экологическая наука в Армении" (Ереван, 2002); VI межд. симпозиум и выставке "Загрязнение окружающей среды в Центральной и Восточной Европе и странах СНГ" (Прага, 2003); межд. конф. "Радиобиоэкология и радиохимические измерения" (Jackson Hole, США, 2003).

Публикации. Из 25 публикаций автора по материалам диссертации опубликовано 17 работ. За время работы над диссертацией автор являлся научным секретарем II-й республ. молодеж. науч. конф. "XXI век: экологическая наука в Армении" (Ереван, 2001). За комплекс работ по радиоэкологическим исследованиям автору присуждена Премия Президиума НАН РА и Фонда Галуста Гюльбенкяна "*Лучший аспирант и молодой научный сотрудник года*" (2001); в 2003 г. UNDP/GEF присудил автору Премию за вклад в исследования окружающей среды Армении.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, 3-х глав, заключения, указателя литературы (содержащего 198 работ, из них 39 иностранных). Основная часть работы изложена на 141 странице, содержит 16 таблиц, 45 рисунков (из них 10 карт).

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю – д. биол. н. В.Л. Ананян за ценные рекомендации и содействие исследованиям. Особую признательность автор выражает директору Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА, д.геол.-минерал.н. А.К. Сагателяну за постоянное внимание и поддержку в организации и проведении исследований. Автор искренне признателен д.физ.-мат.н., проф. А.С. Данагулян за консультации и техническую помощь. Отдельную благодарность автор приносит сотрудникам Экоцентра – д. биол. н. О.А. Джугарян, к. геол. н. С.А. Аракеляну, к. с/х н. Л.А. Араратяну, н. сотруд. С.Г. Аревшатяну, А.Н. Бейлерян, Г.Г. Африкян и др. – за сотрудничество при выполнении исследований и подготовке диссертации.

В автореферате использованы следующие аббревиатуры: $\Sigma\beta$ -радиоактивность – суммарная бета-радиоактивность; ПРФ – природный радиационный фон; V – коэффициент вариации; КН – коэффициент накопления.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Предмет и задачи радиозологии. Обсуждены предмет и задачи современной радиозологии и перспективы ее развития; рассмотрены масштабы антропогенного загрязнения природной среды искусственными радионуклидами; сделан акцент на состоянии радиационной обстановки на урбанизированных территориях.

1.2. Понятие радиоактивности. Кратко изложены история и основные понятия о радиоактивности, α - β - γ -излучений, допустимые дозы для биоты; приведены величины измерения радиоактивности по международным (СИ) и внесистемным единицам.

1.3. Естественная радиоактивность. Обсуждена проблема ПРФ, систематизированы данные по семействам естественных радионуклидов и их изотопам в соответствии с величиной их вклада в естественный фон (^{40}K , ^{87}Rb , $^{238}\text{U}+^{235}\text{U}$, ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po , ^{210}Bi , ^{210}Pb , ^{14}C , ^3H). Обсуждены положения о радиоактивном загрязнении биосферы и технологически повышенном естественном радиационном фоне, а также его источниках (добыча и использование угля, полезных ископаемых и др.).

1.4. Искусственная радиоактивность. Изложена проблематика поступления в биосферу радионуклидов искусственного происхождения в связи с испытанием ядерного оружия, развитием ядерной промышленности и энергетики, авариями на ядерных реакторах. Детально проанализирована природа и влияние искусственных радионуклидов и их изотопов (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{144}Ce , ^{140}La , ^{140}Ba , ^{239}Pu) на экосистемы.

1.5. Воздействие радиации на биологические системы. Проанализированы материалы по влиянию радиации на биологические системы, обсужден эффект малых доз радиации, основные закономерности поведения радиоизотопов в животном организме и предельно допустимые дозы для населения.

1.6. Радиозологические исследования в Армении начаты с 1958г. Материалы за период 1958-1960гг. по изучению естественного уровня $\Sigma\beta$ - и γ -радиоактивности различных почв Армении и степени их загрязнения обобщены Г.С. Давтяном и В.Л.Ананяном [1963]. Последующие исследования были направлены на изучение миграции природных ($^{238}\text{U}+^{235}\text{U}$, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb) и искусственных (^{54}Mn , ^{144}Ce , ^{90}Sr , ^{137}Cs) радиоактивных веществ для выявления закономерностей их поведения в отдельных звеньях экосистемы; составлена карта содержания радионуклидов в почвах Армении (М 1:600000) [Ананян, 1983, 1984; Ананян, Араратян, 1990]. После аварии на ЧАЭС (1986г.) обнаружены короткоживущие изотопы в почвах высокогорий Армении (^{134}Cs , $T_{1/2}=2.07$ лет) [Ананян, 1994]. Также проведены систематические исследования по радиационному мониторингу в районе Армянской АЭС [Ананян, 1993; Семерджян и др., 1997, 2002; Петросян, 2001; Калачян и др., 2000]. В рамках программы ТКСОП г.Еревана исследованы допустимые нормы ионизирующих излучений для населения города; показано, что для территории характерны изотопы природных (^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Bi , ^{210}Pb , ^{220}Rn) и искусственных источников ионизирующего излучения (^{131}I , ^{90}Sr , ^{137}Cs) [Территориальная..., 1986]. Радиационная обстановка г.Еревана, характеризующаяся повышенным природным уровнем, связанным с расположением города на территории вулканического происхождения и усиленная антропогенными факторами, обуславливает актуальность крупномасштабных радиозологических исследований.

Глава II. ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

II.1. Характеристика исследуемой территории. Объект исследований —

территория г.Еревана ($S \approx 225 \text{ км}^2$), расположенная на С-В Араратской котловины. Ереван — город с высокой плотностью населения, большим количеством промышленных предприятий, автопарком, ТЭС. В Ю-З направлении от города, на 30 км удалении расположена Армянская АЭС. Территория г.Еревана расположена в пологой котловине со значительными перепадами высот (800-1400 м над ур.м.), имеет пересеченную местность и разнообразные формы рельефа [Климат Еревана, 1987; Габриелян, 1962]. В Ереване различают 2 ландшафтных пояса: полупустынный (800-1200 м над ур.м.) и сухостепной (1200-1400 м над ур.м.) [Атлас Арм.ССР, 1961; Григорян, 1975; Погосян, 1986].

Климат Еревана сухой, резко континентальный. Количество осадков в течение года $\approx 300 \text{ мм}$ [Климат Еревана, 1987]. В *розе ветров* преобладают С-В (19-35 %) и Ю-З (19-21 %) ветры; средняя годовая скорость ветра колеблется от 1,1 до 2,0 м/с [Арутюнян, 1969].

Почвы полупустынные, маломощные (12-40 см), каменистые, с низким содержанием гумуса (1-1,5 %), с серым оттенком, бесструктурные, скелетные уже на глубине 5-10 см. Основную площадь территории города занимают лугово-бурые орошаемые почвы и пестроцветные солонцы [Погосов, 1943; Эдилян и др., 1976; Генетические типы..., 1979].

Растительность характеризуется комплексностью покрова, где встречаются одновременно пустынные и фриганоидные элементы. Это сильно ксерофильный переходный фитоценоз, в котором преобладает полынно-солянковая ассоциация со значительной ролью эфемеров; местами во влажных стациях встречаются заросли галофитных кустарников и солянок. В условиях города естественная растительность почти не сохранилась, ее заменили лесопосадками, газонами, декоративной растительностью.

II.2. Материал и методы исследований. Материалом для исследований слу-

жили образцы атмосферных выпадений, почв, растений и мхов г.Еревана. Всего анализу было подвергнуто 847 образцов почв, 22 образца растений, 48 образцов атмосферных выпадений. Автором проведена обработка материала по анализам радиоактивности атмосферных выпадений г.Еревана за 1969-1983 и 1989-1997 гг. (360 образцов). Сбор образцов почв, растений и мхов проводился по методу Конверта, разработанному в ИМГРЭ и Почвенном ин-те им. В.В. Докучаева [Важенин и др., 1977; Методические..., 1987]. Сбор атмосферных отложений велся *седиментационным методом* на 1 м^2 [Марей, 1962]. Кюветы (50x50 см, высота бортиков — 10 см) были установлены на высоте в 1,5 м; срок экспозиции — 30 дней. После выпаривания осадка и озонения при 450°C количество выпадений взвешивалось. Показатели пересчитывали на г/м^2 озоненного остатка.

Для измерения уровня радиоактивности применен метод *$\Sigma\beta$ -радиоактивности*, который отражает характерный для данного периода общий состав радионуклидов в пробах [Ананян, 1961; Налбандян, Ананян, 2000 2001]. Исходя из нашего опыта, определение $\Sigma\beta$ -радиоактивности можно рассматривать как оперативный метод экологической экспертизы загрязненных территорий, так как он позволяет исследовать большое количество проб за короткое время и выделять наиболее загрязненные участки [Налбандян, 2001]. В начальный период (с 1958 г.) $\Sigma\beta$ -радиоактивность почв измеряли счетчиком АС-2 [Ананян, Степанян, 1993]. С 1987 г. измерения производятся бета-радиометром РКБ4-1еМ, методом оценки удельной и объемной активности β -излучающих радионуклидов проб

объектов внешней среды. В качестве эталона для обоих приборов использован KCl. Определение фона производилось до и после измерения $\Sigma\beta$ -радиоактивности образцов. Время измерения одной пробы – 20-30 мин. Погрешность определения чувствительности $\pm 15\%$ [Техническое..., 1977]. Последовательность анализа: измерение фона, измерение эталона, измерение образца.

Анализ содержаний радионуклидов в объектах окружающей среды проведен *γ -спектрометрическим измерением* проб атмосферных выпадений, почв, растений и мхов г.Еревана на сцинтилляционном γ -спектрометре с детектором NaI(Tl) (Canberra Packard, USA), а также на низкофономом γ -спектрометре с полупроводниковым детектором HpGe (Canberra Packard, USA). Пробы помещались в контейнер с геометрией Маринелли [Сабодин и др., 2000], детектор – в свинцовую защитную камеру. Для определения значений чувствительности выполнена калибровка по эффективности, используя образцовые источники (^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{57}Co , ^{54}Mn , ^{152}Eu). Минимальное время измерения для проб с низкой активностью – 3 часа. Набор, обработка спектра и определение радионуклидного состава произведено на базе программного обеспечения Genie-2000 (Canberra, USA). Систематические погрешности чувствительности прибора – 5-15 %.

Определение концентрации ^{90}Sr в образцах атмосферных выпадений проведено радиохимическим методом по ^{90}Y [Павлоцкая, 1966; Дозиметрические..., 1966]. Измерения проводились в ИАПГ АН АрмССР [Ананян, Араратян, 1990]. В пробах почв и растений ^{90}Sr определялся на низкофономой β -спектрометрической установке "Прогресс" (РФ) с детектором NaI(Tl), предоставленной Лабораторией Охраны Окружающей Среды Армянской АЭС. Перед измерением пробы подвергались радиохимической обработке. Время измерения – 3 часа. Содержание К в образцах растений определялось химическим методом по ИСО 9964-3 на пламенном фотометре ПФМ (РФ) [Фомин, 2000].

При составлении карт распределения радиоактивности в почвенном покрове использовались программные пакеты GIS ArcView 3.2 и Surfer 6.04.

Глава III. ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ г. ЕРЕВАНА

III.1. Радиоактивность атмосферных выпадений.

III.1.1. Характеристика радиоактивности атмосферных выпадений.

Кратко охарактеризована радиоактивность атмосферных выпадений, их источников, характера распространения и миграции, а также роли урбанизации, выбросов автотранспорта и промышленных предприятий в формировании загрязнения атмосферы.

III.1.2. *Методика исследований.* В изучении динамики процессов радиоактивного загрязнения г.Еревана применен седиментационный метод. Исследования атмосферных выпадений (осадки+пыль) проведены в 2 этапа: 1969-1983 и 1989-2001гг.

I-ый этап (1969-1983гг.). В пробах определены $\Sigma\beta$ -радиоактивность, ^{90}Sr , ^{137}Cs . Результаты исследований показали, что между $\Sigma\beta$ -радиоактивностью выпадений и содержанием ^{137}Cs и ^{90}Sr существует тесная корреляция (табл. 1). По теоретическим линиям регрессии рассчитано количество выпавших ^{137}Cs и ^{90}Sr на единицу поверхности [Ананян, Араратян, 1990].

II-й этап (1989-2001гг.). В пробах определена $\Sigma\beta$ -радиоактивность. На основании теоретической линии регрессии по данным $\Sigma\beta$ -радиоактивности рассчитано количество ^{90}Sr и ^{137}Cs в атмосферных выпадениях в г.Ереване за 1989-2001 гг.

Табл. 1. Коэффициенты корреляции и уравнения регрессии (по всем пунктам).

Показатели	n	Коэффициенты корреляции		Уравнения регрессии
		$r \pm m$	$t = 0,05$	
β -активность (x) - ^{90}Sr годовые (y)	32	$0,82 \pm 0,11$	8,2	$y = 3,81 + 0,022 x$
β -активность (x) - ^{137}Cs годовые (y)	32	$0,78 \pm 0,10$	7,6	$y = 1,6 + 0,059 x$

Измерения проводились в лабораториях ИГН НАН РА и ЦЭНИ НАН РА.

Радионуклидный состав атмосферных выпадений за 2000г. определен γ -спектрометрически (совместно с кафедрой ядерной физики ЕГУ), в лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (г.Дубна, РФ) на низкофоновом гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором типа HpGe с разрешением 4,3 keV на гамма-линии 1332 keV ^{60}Co (Canberra Packard, USA). Экспозиция измерения фона и образцов составила 117,34 часа. Обработка спектров и определение содержания радионуклидов в образце выполнены автором.

III.1.3. *Результаты исследований.* В горных районах на характер распределения атмосферных выпадений влияет вертикальная поясность. С повышением местности над ур.м. увеличивается количество выпадающих с осадками радионуклидов [Ананян, Налбандян, 2000].

Анализ показал, что $\Sigma\beta$ -радиоактивность атмосферных выпадений на I-м этапе (1969-1983гг.) по годам колебалась в значительной степени – 104,4-1857,4 Бк/м²/год (рис. 1). Максимальный показатель наблюдался в 1971г. (1857,4 Бк/м²/год), в 1973г. – спад (111 Бк/м²/год). В 1974 и 1977гг. отмечены повышенные показатели – 1073,8 и 743,8 Бк/м²/год соответственно. Очевидно, это связано с продолжением проведения Францией и Китаем серии ядерных взрывов в атмосфере после 1963г. (последний из них – в 1980г.), в результате чего произошел выброс дополнительных порций радионуклидов в стратосферу и вследствие этого – увеличение выпадений радионуклидов на земную поверхность.

На II-м этапе (1989-2001гг.) наблюдается выровненный по годам уровень $\Sigma\beta$ -радиоактивности (307-355 Бк/м²/год). Среднее содержание $\Sigma\beta$ -радиоактивности выпадений на I-м этапе было почти в 2 раза выше (672 Бк/м²/год), чем на II-м этапе (304 Бк/м²/год).

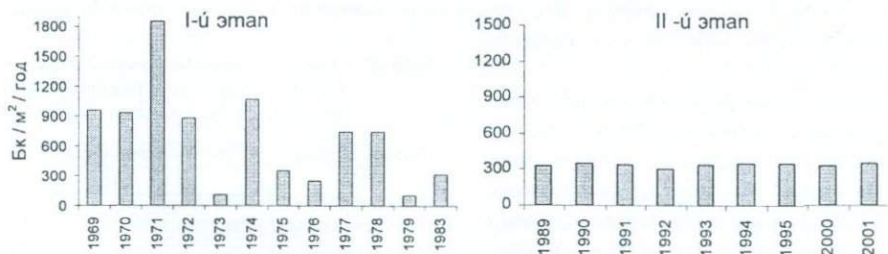


Рис. 1. $\Sigma\beta$ -радиоактивность атмосферных выпадений г.Гревана.

На рис. 2 приведены рассчитанные по уравнению регрессии (см. табл. 1) количества ^{90}Sr и ^{137}Cs . Характер распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs по годам почти совпадает с $\Sigma\beta$ -радиоактивностью выпадений [Ананян, Налбандян, 2001]. Содержание ^{90}Sr на II-м этапе снизилось на 36,6%, ^{137}Cs – на 45,5% [Nalbandyan, 2002]. Уровни $\Sigma\beta$ -радиоактивности и кон-

центрации ^{90}Sr и ^{137}Cs снизились в 2 и 3 раза за счет уменьшения содержания глобальных радионуклидов в атмосфере (табл. 2).

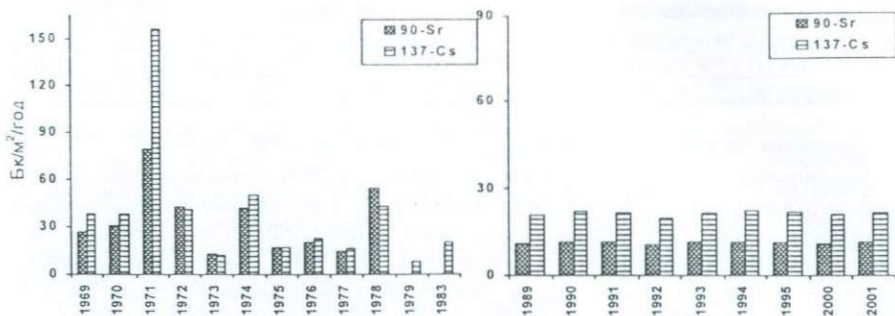


Рис. 2 Концентрация ^{90}Sr и ^{137}Cs в атмосферных выпадениях г.Еревана.

Табл. 2. Содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , пределы колебаний, их доля в % от $\Sigma\beta$ -радиоактивности (в числителе – пределы колебаний, в знаменателе – средние содержания).

Годы	^{90}Sr , Бк/м²/год	Доля ^{90}Sr , % от $\Sigma\beta$ -рад-ти	^{137}Cs , Бк/м²/год	Доля ^{137}Cs , % от $\Sigma\beta$ -рад-ти	Отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
1969-1983	12,6 - 79,2 30,6	1,9 - 4,8 4,3	12,0 - 156 46,8	3,3 - 3,4 3,3	1,53
1989-2001	10,6 - 1,5* 11,2	3,3 - 3,4 3,3	19,7 - 22,3* 21,3	6,3 - 6,4 6,4	1,90
Снижение в сравнении с 1969-1983гг.		36,6 %		45,5 %	

* расчетные данные.

В формировании $\Sigma\beta$ -радиоактивности атмосферных выпадений участвует также калий, являющийся природным элементом, обладающим радиоактивностью за счет изотопа ^{40}K [Перцов, 1964]. Исследования за период 1969-1973гг. показали, что в Ереване, по сравнению с другими пунктами, выпадения калия максимальные. Доля калия от $\Sigma\beta$ -радиоактивности колебалась в пределах 1,8-9,8 %.

γ -спектрометрический анализ атмосферных выпадений за 2000г. (табл. 3) показал, что содержание изотопов семейства урана (^{234}Th , ^{214}Pb , ^{214}Bi), за исключением ^{210}Pb , в образце близкое, так как они в природной среде находятся в равновесном состоянии. То же самое относится и к радионуклидам семейства тория (^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{208}Tl). Содержание ^{210}Pb почти в 3 раза больше ($164,0 \pm 16,4 \text{ Бк/м}^2$). Содержание ^{40}K оказалось наибольшим, так как он вносит большой вклад в ПРФ. Содержание ^{137}Cs было минимальным, так как он

Табл. 3. Содержание радионуклидов в сборном образце атмосферных выпадений г.Еревана за 2000 г.

Радионуклиды	Активность, Бк/м²
^{137}Cs	4,1 ± 2,46
^{40}K	295,2 ± 8,2
Семейство ^{238}U	
^{234}Th	45,1 ± 11,5
^{214}Pb	48,0 ± 4,9
^{214}Bi	49,2 ± 6,56
^{210}Pb	164,0 ± 16,4
Семейство ^{232}Th	
^{228}Ac	23,8 ± 8,2
^{212}Pb	19,3 ± 2,5
^{208}Tl	18,5 ± 5,7

является результатом глобального антропогенного загрязнения среды.

Результаты исследований радиоактивного загрязнения атмосферы г.Еревана позволили сделать ряд выводов:

1. Установлена временная связь повышения уровня $\Sigma\beta$ -радиоактивности атмосферных выпадений в г.Ереване с годами проведения испытаний ядерного оружия в различных частях света. Уровень $\Sigma\beta$ -радиоактивности атмосферных выпадений г.Еревана за 1969-1983гг. колебался в значительной степени и составил в среднем $672 \text{ Бк/м}^2/\text{год}$. Максимальный показатель наблюдался в 1971г. – $1857,4 \text{ Бк/м}^2/\text{год}$. В 1974 и 1977гг. также отмечены повышенные показатели ($1073,8$ и $743,8 \text{ Бк/м}^2/\text{год}$ соответственно), что было связано с проводимыми испытаниями ядерного оружия в атмосфере.
2. За период 1989-2001гг. произошло снижение $\Sigma\beta$ -радиоактивности до $304 \text{ Бк/м}^2/\text{год}$. Отмечено выравнивание уровней $\Sigma\beta$ -радиоактивности по годам ($307-355 \text{ Бк/м}^2/\text{год}$). Концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs снизились в 2 и 3 раза за счет уменьшения содержания глобальных радионуклидов в атмосфере. Выпадения ^{137}Cs в среднем составили $21,3 \text{ Бк/м}^2/\text{год}$, ^{90}Sr – $11,2 \text{ Бк/м}^2/\text{год}$. Отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ равнялось 1,9.
3. Атмосферные выпадения в г.Ереване характеризуются следующим основным радионуклидным составом: ^{40}K , ^{238}U (^{134}Th , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb), ^{232}Th (^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{208}Tl), ^{137}Cs , ^{90}Sr . ^{40}K характеризуется наибольшим содержанием ($295 \text{ Бк/м}^2/\text{год}$), что обусловлено его большим вкладом в ПРФ. Содержание ^{137}Cs минимально (4 Бк/м^2) за счет уменьшения содержания глобальных антропогенных радионуклидов в атмосфере. Уровни содержания всех изотопов семейства урана, за исключением ^{210}Pb , в образце близкие: $45-49 \text{ Бк/м}^2$. Активность ^{210}Pb почти в 3 раза больше, чем активность остальных изотопов. Изотопы семейства тория также характеризуются близкими уровнями содержания ($19-24 \text{ Бк/м}^2$).

III.2. Радиоактивность почв.

III.2.1. *Характеристика радиоактивности почв.* Приведена характеристика загрязнения почв радиоактивными веществами и их миграции по почвенному профилю. Особое внимание уделено повышению уровня химического и радиоактивного загрязнения почвенного покрова на городских территориях, в частности в г.Ереване [Григорян, Сагателян, 1990; Сагателян, 1996, 2004, и др.]. Нарушение природного геохимического баланса характеризуется двумя основными тенденциями... "Во-первых, происходит нарастание концентраций химических элементов, типичных для природного геохимического ландшафта... Во-вторых, устанавливается интенсивный привнос чуждых данному ландшафту элементов" [Сагателян, 2004]. Аналогичный процесс характерен для миграции радионуклидов естественного происхождения (U, Ra, Th, с продуктами их распада) и привноса искусственных глобальных радионуклидов.

III.2.2. *Методика исследований.* Для изучения распределения уровня радиоактивности в почвах г.Еревана автором проведены анализы дубликатов геохимического картирования почв города за 1990г. В пробах определена $\Sigma\beta$ -радиоактивность. Всего замерено 763 образца.

В 2000г, в 10 пунктах г.Еревана отобраны пробы почв, в которых помимо $\Sigma\beta$ -радиоактивности, определено содержание ^{137}Cs . В 2002г. пробоотбор почв был произведен с 74 пунктов, в точности совпадающих с точками отбора 1990г. Помимо $\Sigma\beta$ -радиоактивности, в 15-и образцах проведен γ -спектрометрический анализ на сцинтилляционном γ -спектрометре с детектором NaI. Определение содержаний радионуклидов трехкратное, продолжительность измерения одного образца – 3 часа. Обработка спектров прово-

дидлась с использованием программного обеспечения Genie-2000.

Концентрации ^{90}Sr определены β -спектрометрически. Данные $\Sigma\beta$ -радиоактивности подвергнуты статистической обработке, рассчитаны коэффициенты вариации распределения $\Sigma\beta$ -радиоактивности на территории г.Еревана по планшетам. Составлены карты распределения $\Sigma\beta$ -радиоактивности на территории города на базе математико-картографического метода – моделирования поверхностей загрязнения с использованием крикинг-интерполяции, где независимые переменные – координаты, зависимые – показатели $\Sigma\beta$ -радиоактивности [Перельман, Касимов, 1999]. Для составления карт использовалась цифровая карта г.Еревана (М 1:10000) и программные пакеты GIS ArcView 3.2 и Surfer 6.04.

III.2.3. Результаты исследований. Цель исследований – изучение пространственных особенностей распределения радиоактивного загрязнения в почвах г.Еревана с 1990 по 2002гг.

Основным фактором естественного уровня радиоактивности почв является радиоактивность материнской породы. Измерения $\Sigma\beta$ -радиоактивности различных почв Армении [Ананян, 1961, 1983; Давтян, Ананян, 1963] за период 1943-1950гг., когда радиоактивного загрязнения практически не было, показали, что естественный уровень радиоактивности почв Армении колеблется в пределах 489-562 Бк/кг (табл. 4).

Табл. 4. Среднее содержание естественных радионуклидов в почвах Армении (Бк/кг).

Радионуклиды	^{238}U	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{87}Rb	Сумма	^{40}K в % от суммы
Основные типы почв	45,5	46,7	36,4	355,5	38,6	522,7	68
Число проб	37	18	19	30	30	-	-

За естественный фон почв нами принята величина $\Sigma\beta$ -радиоактивности, равная 500-600 Бк/кг [Ананян, Налбандян, 1999]. Такой же отсчет в 500 Бк/кг был принят в отдаленном от Армении регионе на территории Запорожской ПЗРО [Маркелов и др., 1999].

$\Sigma\beta$ -радиоактивность почв г.Еревана в 1990г. В табл. 5 приведены результаты статистической обработки данных распределения $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв по планшетам г.Еревана. V по городу варьируют в пределах 2,8-8,7%. Крайние показатели по городу в целом колебались в значительных пределах (538-919 Бк/кг), что говорит о мозаичном характере распределения радиоактивности почв на территории г.Еревана (рис. 3) [Налбандян, 1999; Налбандян, Ананян, 2001].

С-3 (Силикян, Шаумян): преобладают уровни $\Sigma\beta$ -радиоактивности в пределах 651-700 Бк/кг (42%). Выявлены две аномалии с повышенным уровнем (751-800 Бк/кг) – 18%. Активность, близкая к естественному уровню (550-650 Бк/кг) наблюдалась в 18% проб.

Север (Ачапняк, Давидашен, Нор Арабкир, пр-т Комитаса, пр-т Азатутян): загрязненных участков больше – 80% проб, активность – 701-800 Бк/кг.

С-В (Канакер, Нор Зейтун, Аван, Аван-Ариндж, Нор Норк) отличается значительной мозаичностью. Наблюдаются вкрапления “чистых” и сильно загрязненных участков. 41% проб показало активность 601-700 Бк/кг, 34% – 701-750 Бк/кг, 19% – 751-800 Бк/кг. Повышенные показатели (>800 Бк/кг) отмечены в 5% проб [Налбандян, Ананян, 2001].

С-3 (Шаумян, Нор Малатия, Себастья, Норагавит): 50% проб показали среднюю активность (701-750 Бк/кг). Активности в пределах 651-700 и 751-800 Бк/кг отмечены у 25% проб.

Центр (Нор Кикикия, Конд, Норагож, Айгестан, Сари Таг): основной уровень находится в пределах 701-750 Бк/кг (44%); отдельные участки имеют естественный (~5% проб) и повышенный (18% проб) уровни.

Табл. 5. Распределение $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв г.Еревана в 1990г.

N планшета	Административные районы и главные улицы города	n	Крайние показатели, отклонения от среднего (S)	V(%)
1	Силикян, Шаумян	65	538-780 682±59	8,7
2	Ачапняк, Давидашен, Нор Арабкир, пр-т Комитаса, пр-т Азатутяна	124	630-850 748±33	4,4
3	Канакер, Нор Зейтун, Аван, Аван-Ариндж, Нор Норк	231	570-919 715±54	7,6
4	Шаумян, Себастья, Нор Малатия, Норагавит	24	660-780 728±33	4,5
5	Нор Киликия, Конд, Айгестан, Норагох, Сари Таг	127	610-836 718±37	5,4
6	Сари Таг, Нор Норк, Норк, Нор Мараш, Джрвез	67	605-800 716±40	5,6
7	Норагавит, Неркин Шенгавит, Нор Ареш, Эребуни	107	610-810 718±37	5,2
8 (1)	Вардашен, Верин Джрашен, Нор Ареш	6	700-750 730±24	3,3
8 (2)	Советашен	12	737-799 767±21	2,8
Всего		763	538-919 721±47	6,5

Восток (Сари Таг, Нор Мараш, Норк, Нор Норк, Джрвез): превалирует уровень β -радиоактивности 701-750 Бк/кг (54 % проб). Повышенный уровень – 751-800 Бк/кг составляет значительное сплошное пятно (16 % проб). Возможно, оно находится под влиянием дыма от горящей городской мусорной свалки. Уровень 601-700 Бк/кг отмечался для 28 % проб.

Распределение β -радиоактивности в южной части (Норагавит, Неркин Шенгавит, Нор Ареш, Эребуни) сравнительно более однородное. Здесь превалирует уровень 701-750 Бк/кг (50 % проб). Близкими к естественному уровню (601-650 Бк/кг) оказались 6 % проб, а 24 % проб показало активность в пределах 651-700 Бк/кг. Повышенный уровень (751-800 и больше Бк/кг) отмечался у 21 % проб.

Ю-В города (Вардашен, Верин Джрашен, Советашен) отличается повышенным уровнем. 50 % проб показало повышенный уровень (751-800 Бк/кг), 39 % – 701-750 Бк/кг, 11 % – 651-700 Бк/кг.

Анализ показал, что $\Sigma\beta$ -радиоактивность почвенного покрова на территории г.Еревана в 1990г. характеризуется значительной мозаичностью пространственного распределения. Отмечаются как фоновые участки, так и территории с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения. Наибольшее распространение имеют активности 651-750 Бк/кг. Повышенную активность (751-800 Бк/кг) имеют от 16 до 25 % от количества проб каждого планшета. Вычитая из повышенного уровня (в среднем 820 Бк/кг) фон, получим приближенную величину радиоактивного загрязнения в 220 Бк/кг. Эта величина может быть образована за счет искусственных (^{137}Cs , ^{90}Sr и др.), а также – естественных радионуклидов техногенного происхождения (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb и др.) и продуктов их распада. Неравномерность распределения $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв на территории связана с климатическими, физическими и техногенными факторами.



Рис. 3. Карта распределения $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв г.Еревана в 1990г.

Сравнительный анализ $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв г.Еревана в 1990 и 2002г. Мониторинговые исследования за 1990 и 2002г. позволили проследить динамику изменения уровня радиоактивности в почвенном покрове на территории г.Еревана. Результаты анализов показали, что в почвах С-З части города (Ачапняк, Силикян, Шаумян) в 1990г. уровень $\Sigma\beta$ -радиоактивности колебался в пределах 590-760 Бк/кг, а в 2002г. — 640-710 Бк/кг.

В северной части (Давидашен, Нор Арабкир) картина $\Sigma\beta$ -радиоактивности следующая: в 1990г. в 9 пробах из 13-и отмечались высокие показатели 751-850 Бк/кг, однако в 2002 г. уровень значительно снизился и 12 проб показали активность 651-750 Бк/кг.

В почвах С-В города (Канакер, Аван, Нор Зейтун, Норк) в 2002г. отмечено значительное снижение уровня $\Sigma\beta$ -радиоактивности во всех пунктах. В 1990г. уровень $\Sigma\beta$ -радиоактивности у 8 проб из 12-и колебался в пределах 751-850 Бк/кг. В 2002г. такого уровня не отмечалось. В 7 пробах уровень снизился до фона — 550-650 Бк/кг, а остальные 5

показали уровень 651-750 Бк/кг.

В почвах С-З города (Шаумян, Себастья, Нор Малатия, Норагавит) в 1990г. $\Sigma\beta$ -радиоактивность была в пределах 700-790 Бк/кг, в 2002г. отмечается спад: 640-720 Бк/кг.

В центре города (Айгестан, Сари Таг, Конд, Нор Киликия) в 1990г. 3 пробы из 14-и показали $\Sigma\beta$ -радиоактивность 751-850 Бк/кг, а у 10-и проб – 651-750 Бк/кг, близкой к фону оказалась 1 проба. В 2002г. близкие к фону уровни (550-650 Бк/кг) зафиксированы в 6-и пробах. В 8-и пробах уровень колебался 651-750 Бк/кг, а показателей >751 Бк/кг не отмечено.

Распределение $\Sigma\beta$ -радиоактивности в почвах восточной части (Нор Норк, Норк, Нор Мараш, Джрвез) следующее: в 1990г. на этой территории отмечались уровни 650-780 Бк/кг, а в 2002г. – 660-780 Бк/кг, т.е. значительных колебаний уровня не установлено.

На юге города (Норагавит, Шенгавит, Нор Ареш, Эрбуни) $\Sigma\beta$ -радиоактивность значительно колеблется: по данным 1990г. уровень радиоактивности был в пределах 710-780 Бк/кг, а в 2002г. – 650-710 Бк/кг. В 1990г. сравнительно высокие показатели (751-850 Бк/кг) отмечались в 5-и пробах из 10. В 2002г. в этих точках $\Sigma\beta$ -радиоактивность снизилась до 651-750 Бк/кг.

На Ю-З города (Вардашен, Верин Джрашен, Советашен) уровень $\Sigma\beta$ -радиоактивности колеблется в следующих пределах: в 1990г. – 700-750 Бк/кг, в 2002г. – 630-670 Бк/кг. Показателей >750 Бк/кг на этой территории не зафиксировано. Отмечается снижение уровня в 2002г. Пределы колебаний $\Sigma\beta$ -радиоактивности в 2002г. – 540-780 Бк/кг.

Общая результаты исследований $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв г.Еревана за 1990 и 2002гг., можно заключить, что по сравнению с 1990г. в 2002 г. наблюдается снижение уровня радиоактивности почти во всех точках [Nalbandyan, Karapetyan, 2003].

Так, в 1990г. из общего числа проб близкими к фону (550-650 Бк/кг) оказалось 7%, в то время как в 2002г. этот уровень наблюдался уже в 25% проб. Средний уровень (651-750 Бк/кг) в 1990г. отмечался у 51% проб, а в 2002г. – 72% проб. Что касается сравнительно высоких показателей (751-800 и более Бк/кг), то в 1990г. такую активность показало 42%, а в 2002г. – лишь 3% проб (рис. 4) [Nalbandyan, Karapetyan, 2003].

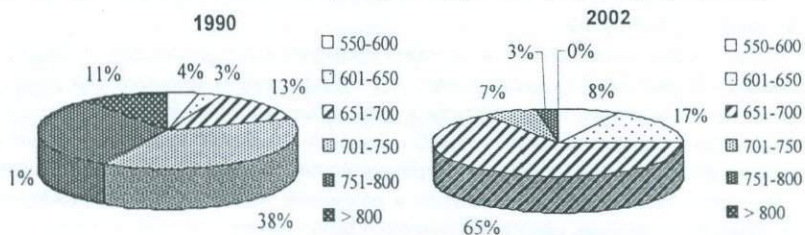


Рис. 4. Распределение $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв г.Еревана в 1990 и 2002 гг.

Изучение радионуклидного состава почв г.Еревана. В 10 образцах почв 2000г. определены $\Sigma\beta$ -радиоактивность и концентрация ^{137}Cs . По распаду за 10 лет выполнен обратный пересчет концентрации ^{137}Cs с 2000г. на 1990г., рассчитана также доля ^{137}Cs от $\Sigma\beta$ -радиоактивности. В 1990г. доля ^{137}Cs в % от $\Sigma\beta$ -радиоактивности колебалась по пунктам в пределах 2,5-4,2%, в 2002г. этот процент был несколько ниже – 2,0-3,4%. Величина распада за 10 лет составила около 20%. Известно, что одновременно с распадом происходит привнос радионуклидов из атмосферы, чем обусловлено наблюдаемое относи-

тельное равновесие [Налбандян, 2003].

В 15 образцах почв 2002г. проведен γ -спектрометрический анализ; определение ^{90}Sr проведено β -спектрометрическим методом (табл. б). ^{40}K составил 84,7% от суммы измеренных радионуклидов; $V(^{40}\text{K})=13\%$. Содержание ^{226}Ra в среднем составило 21,3 Бк/кг; $V=18,2\%$, что больше чем у ^{40}K . Доля ^{226}Ra от суммы радионуклидов – 3,9%.

Табл. б. Содержание радионуклидов в почвах г. Еревана (2002 г.), n=15.

Показатели	Активность радионуклидов, Бк/кг					Σ средних
	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{90}Sr	
Пределы колебаний, среднее, ошибка среднего (S)	309-537	14,7-28,2	26,7-48,6	10,5 -18,3	4,5-8,1	539
	457,3 \pm 9,9	21,3 \pm 2,8	37,7 \pm 3,9	14,1 \pm 2,1	5,8 \pm 1,5	
V (%)	13,1	18,2	25,3	17,1	17,9	

Содержание ^{232}Th в почвах города выше, чем ^{226}Ra , его доля от суммы – 7%, $V=25,3\%$. Из искусственных нуклидов (продуктов ядерного распада) определены ^{137}Cs и ^{90}Sr . Доля ^{137}Cs от суммы нуклидов составила 2,6%. По сравнению с 2000 г. (18,5 Бк/кг) отмечается снижение его уровня в почвах в 2002 г. (14,1 Бк/кг). Содержание ^{90}Sr в почвах по сравнению с ^{137}Cs в 2,5 раза меньше, его доля от суммы – 1,07%. Отношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ – 2,56. Коэффициент вариации ^{137}Cs и ^{90}Sr – 17,1 и 17,9% соответственно, что указывает на их неравномерное распределение в почвах города [Խճրճիճիճի, 2004].

Согласно исследованиям В.Л. Ананян и Э.К. Степанян [1993], содержание ^{90}Sr в почвах различных районов Армении в 1962-1965гг. в среднем составляло 33,2 Бк/кг, а в 1984г. – 11,5 Бк/кг. Как видно из табл. б, в 2002г. среднее содержание ^{90}Sr в почвах г.Еревана составляет 5,8 Бк/кг, т.е. отмечается значительное снижение уровня содержания ^{90}Sr со временем. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в поверхностном слое почв в последние годы снизилось предположительно за счет их распада и перераспределения в результате промывания в нижние горизонты почв, поверхностного смыва, выноса растениями и др.

Выводы по разделу III.2.

1. Для изучения радиоактивности почв г.Еревана применен метод определения $\Sigma\beta$ -радиоактивности, который можно рассматривать как оперативную и сравнительно дешевую методику радиозоологической экспертизы загрязненных территорий: за короткое время можно измерить большое количество проб и выделить наиболее загрязненные участки, которые в дальнейшем могут быть подвергнуты более детальному анализу. Проведенное сопоставление радиационных замеров в различные периоды времени доказывает необходимость проведения радиозоологического мониторинга.
2. В качестве естественного радиоактивного фона обоснована величина в 500-600 Бк/кг.
3. Изучение $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв г.Еревана за 1990г. показало значительную мозаичность пространственного распределения уровня радиоактивности. $V=6,5\%$. Крайние показатели по городу колебались в пределах 538-916 Бк/кг. Составлены карты и гистограммы распределения $\Sigma\beta$ -радиоактивности г.Еревана.
4. Результаты мониторинга 1990 и 2002гг. показали, что за 12 лет произошло снижение уровня радиоактивного загрязнения: в 1990г. – 4%, в 2002г. – 8% проб. $\Sigma\beta$ -радиоактивность в пределах 601-651 Бк/кг в 1990г. показали 3% проб, в 2002г. – 17%. В 1990г. 13% проб показали $\Sigma\beta$ -радиоактивность 651-700 Бк/кг, в 2002г. – 65%. Повышенные показатели (701-800 Бк/кг) в 1990г. отмечены у 69%, в 2002 г. – в 10% проб.

Высокие показатели (800 и более Бк/кг) в 1990г. зафиксированы в 11% проб; в 2002г. такие показатели отсутствуют.

5. Перерасчет концентрации ^{137}Cs с 2000г. на 1990г. по мониторинговым пунктам показал, что величина распада за 10 лет составила около 20%. Доля ^{137}Cs от $\Sigma\beta$ -радиоактивности в 1990г. составила 2,5-4,2%, в 2000г. – 2,0-3,4%. Если учесть, что одновременно с распадом происходит также и поступление ^{137}Cs с атмосферными осадками, то такая разница является незначительной. В 2002г. отмечено снижение уровня ^{137}Cs в сравнении с 2000г.
6. Установлено, что ведущую роль в формировании естественного радиоактивного фона играет ^{40}K , который составил 84,7% от суммы измеренных радионуклидов. Содержание ^{226}Ra ($V=18\%$) и ^{232}Th ($V=25\%$) составило 3,9% и 7%; искусственные радионуклиды – ^{137}Cs и ^{90}Sr – 2,6 и 1,07% соответственно.

III.3. Радиоактивность растений и мхов.

III.3.1. Характеристика радиоактивности растений и мхов. Обсуждена проблема поступления и миграции радиоактивных изотопов в систему "почва – растение", особенностей их поглощения и перераспределения по органам растений. Проанализированы индикационные способности мхов как концентраторов радионуклидов.

III.3.2. Методика исследований. Материалом для исследований служили образцы трав (сем. *Poaceae* – *Secale muskari*, *Arrhenatherum elatius*, *Poa sp.*, *Festuca sp.*, *Plevel sp.*, *Dactylis glomerata*; *Fabaceae* – *Medicago sativa*; *Brassicaceae* – *Descurania sophia*), собранные с 10 участков г.Еревана в 2000-2003гг. и мхов (род *Tortula*) – 2000-2003гг. В образцах трав определены $\Sigma\beta$ -радиоактивность, ^{137}Cs и ^{40}K – γ -спектрометрически, ^{90}Sr – β -спектрометрически, К – химически. Образцы мхов проанализированы на изотопный состав (γ -спектрометрически).

III.3.3. Результаты исследований.

III.3.3.1 Исследование радиоактивности растений г.Еревана. $\Sigma\beta$ -радиоактивность растений в г.Ереване в 2000г. находилась в пределах 1284-1556 Бк/кг (табл. 7), что почти в 2 раза превышает средний показатель за 1962г. (673 Бк/кг). Радиоактивность К варьировала в пределах 700-924 Бк/кг, что составляет 37-63% от $\Sigma\beta$ -радиоактивности ($V=15,2\%$); ^{137}Cs – 15,0-27,4 Бк/кг (в среднем 1,5% от $\Sigma\beta$ -радиоактивности, $V=21,7\%$).

Табл. 7. Распределение $\Sigma\beta$ -радиоактивности и содержание К и ^{137}Cs в растениях в г.Ереване, 2000 г., n=10.

Показатели	$\Sigma\beta$ -рад-ть, Бк/кг	К		^{137}Cs	
		Бк/кг	доля ^{40}K (%) от $\Sigma\beta$ -рад-ти	Бк/кг	доля ^{137}Cs (%) от $\Sigma\beta$ -рад-ти
Среднее	1455	748	51	25,1	1,5
Пределы колебаний, среднее, отклонение от среднего, S	1284-1556 1455± 84,5	700-924 748±114,2		15,0-27,4 25,07±6,26	
V (%)	5,8	15,2		21,7	

Анализ КН ^{137}Cs в 2000г. показал, что в большинстве случаев в растениях содержание ^{137}Cs выше, чем в почвах. КН низкий (0,62-2) [ИшГришГриш, 2004].

В сравнении с 2000г., в образцах растений 2003г. уровень $\Sigma\beta$ -радиоактивности несколько снизился (рис. 5). Содержание ^{137}Cs в 2003г. в среднем 22,9 Бк/кг, что близко к

показателям 2000г.; средние концентрации ^{90}Sr значительно ниже – 3,9Бк/кг. Соотношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в атмосферных выпадениях г.Еревана за 1989-2001гг. в среднем было равно 1,9, а в растениях – 5,2, т.е. в растениях имеет место накопление ^{137}Cs , концентрация которого в 5-9 раз выше, чем ^{90}Sr . Сумма $^{90}\text{Sr}+^{137}\text{Cs}$ (по средним) составила 26,9Бк/кг, что составляет 1,83 % от $\Sigma\beta$ -радиоактивности.

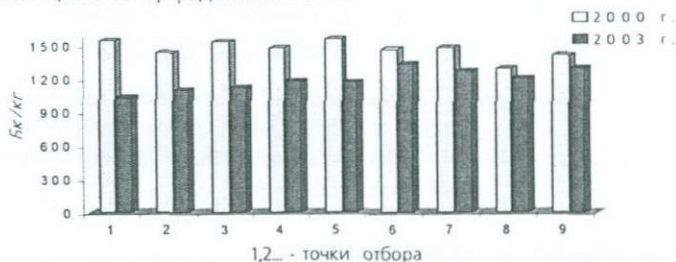


Рис. 5. $\Sigma\beta$ -радиоактивность растений г.Еревана в 2000 и 2003гг.

Изложенные данные позволяют считать, что повышение уровня $\Sigma\beta$ -радиоактивности растений в условиях города происходит в основном (за исключением К) за счет техногенного загрязнения радиоактивными веществами, содержащимися в пылевых отложениях, газообразных продуктах автомобильных выхлопов, при сжигании мусора и др. Этот вывод согласуется с исследованиями И.Н. Шевченко и А.И. Даниленко [1989]. Повышение β -радиоактивности городских растений вызвано техногенным загрязнением естественными и искусственными радионуклидами.

III.3.3.2. *Исследование радиоактивности мхов г.Еревана.* Мхи по сравнению с травами накапливают значительное количество радионуклидов, особенно ^{137}Cs . Различия в содержании ^{90}Sr во мхах по сравнению с травами составили 10-26 раз [Ананян и др., 1991], что обусловлено климатическими условиями и видовыми различиями растений.

Отношения химических элементов во мхах, травах и атмосферных выпадениях в различных районах Армении показали, что последовательность стабильных и радиоактивных нуклидов, в частности ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}U во мхах аналогична таковой в атмосферных выпадениях. Особенно четко эта картина видна при сопоставлении отношений $^{90}\text{Sr} : \text{Ca}$ и $\text{Fe} : \text{Pb}$. γ -спектрометрический анализ мхов 2000-2002гг. показал наличие ^{137}Cs во мхах и различие в его накоплении по годам: в 2001г. отмечается повышенное содержание ^{137}Cs (рис. б).

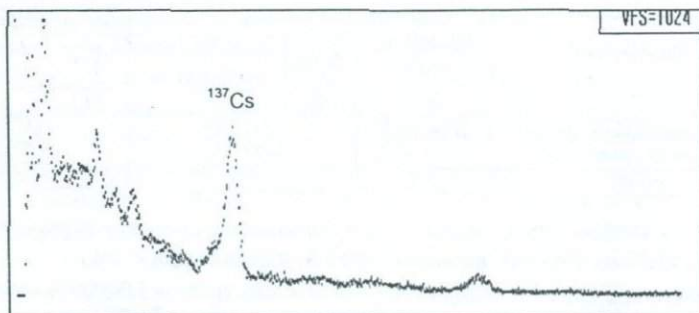


Рис. б. Спектрограмма образца мха из г. Еревана (2001).

Проведенные анализы показали, что даже небольшие количества ^{137}Cs в атмосфере или пыли аккумулируются мхами. Таким образом, результаты исследований подтверждают, что мхи, обладая большей способностью к накоплению радиоактивных элементов, в частности, ^{137}Cs , по сравнению с травянистыми растениями, могут служить индикаторами радиоактивного загрязнения окружающей среды [Налбандян и др., 2002].

Выводы по разделу III.3.

1. $\Sigma\beta$ -радиоактивность растений в г.Ереване в 1962г. в среднем составляла 673 Бк/кг, а в 1990г. - 716 Бк/кг.
2. В 2000г. в г.Ереване $\Sigma\beta$ -радиоактивность трав характеризовалась относительно высоким уровнем (в среднем 1460 Бк/кг). Доля калия от $\Sigma\beta$ -радиоактивности - 51%, доля ^{137}Cs + ^{90}Sr в среднем составила всего 1,8 %.
3. В 2003г. отмечено снижение уровня $\Sigma\beta$ -радиоактивности в сравнении с 2000г. Содержание ^{137}Cs - 22,9 Бк/кг, ^{90}Sr - 3,9 Бк/кг, $\Sigma(^{137}\text{Cs} + ^{90}\text{Sr})$ - 26,9 Бк/кг, что составляет 1,83 % от $\Sigma\beta$ -радиоактивности. В травах 2003г. отношение $^{137}\text{Cs} / ^{90}\text{Sr} = 5,2$, а в атмосферных выпадениях - 1,9.
4. Влияние содержания глобальных радионуклидов ($^{137}\text{Cs} + ^{90}\text{Sr}$) на величину $\Sigma\beta$ -радиоактивности растений низкое и не имеет существенного значения. Повышенная величина $\Sigma\beta$ -радиоактивности трав (за вычетом ^{40}K) ≈ 715 Бк/кг. Это могут быть естественные радионуклиды U, Ra, Th, продукты их распада, которые загрязняют растения, поступаая с пылью, выбросами автотранспорта и промышленных предприятий.
5. Мхи, обладая способностью к безбарьерному накоплению радионуклидов, в частности ^{137}Cs , могут служить индикатором радиоактивного загрязнения. Анализы мхов г.Еревана за 2000-2002гг. показали наличие ^{137}Cs . Результаты исследований позволяют характеризовать мхи как концентраторы радионуклидов и рекомендовать их для радиоэкологического мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов радиоэкологических исследований на территории г.Еревана в системе "атмосферные выпадения - почвы - растения" позволил сформулировать следующие основные выводы:

1. Выявлена временная связь повышения уровня $\Sigma\beta$ -радиоактивности атмосферных выпадений в г.Ереване с годами проведения испытаний ядерного оружия в различных частях света. Уровень $\Sigma\beta$ -радиоактивности атмосферных выпадений за период 1969-1983гг. имел значительные колебания: максимальный показатель отмечался в 1971 г. - 1857,4 Бк/м²/год, минимальный - в 1973г. (111,0 Бк/м²/год), средний - 672 Бк/м²/год. В 1974 и 1977гг. также зафиксированы повышенные показатели (1073,8 и 743,8 Бк/м²/год соответственно). За период 1989-2001гг. выявлена тенденция к снижению и выравниванию уровня $\Sigma\beta$ -радиоактивности атмосферных выпадений и концентраций ^{137}Cs и ^{90}Sr в 2 и 3 раза за счет уменьшения содержания глобальных радионуклидов в атмосфере. Выпадения ^{137}Cs в среднем составили 21,3 Бк/м², ^{90}Sr - 11,2 Бк/м². Отношение $^{137}\text{Cs} / ^{90}\text{Sr}$ равнялось 1,9.
2. Атмосферные выпадения в г.Ереване характеризуются следующим основным радионуклидным составом: ^{40}K , ^{238}U (^{134}Th , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb), ^{232}Th (^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{206}Tl), ^{137}Cs , ^{90}Sr .

Исследованиями за 2000г. установлено, что в $\Sigma\beta$ -радиоактивность основной вклад вносит ^{40}K ($295\text{Бк}/\text{м}^2$); на долю всех изотопов семейства урана приходится $45\text{--}49\text{Бк}/\text{м}^2\text{год}$; ^{210}Pb – $164\text{Бк}/\text{м}^2$; изотопов семейства тория – $19\text{--}24\text{Бк}/\text{м}^2$. Содержание ^{137}Cs составило всего $4\text{Бк}/\text{м}^2$, тогда как активность ^{210}Pb была в 3 раза больше, чем активность всех остальных изотопов.

3. Для изучения уровня радиоактивности почв г.Еревана определение $\Sigma\beta$ -радиоактивности является оперативным и сравнительно дешевым методом радиоэкологической экспертизы загрязненных территорий, так как за короткое время можно измерить большое количество проб и выделить наиболее загрязненные участки.
4. В качестве естественного фона β -радиоактивности по сумме всех естественных радионуклидов установлена величина в $500\text{--}600\text{Бк}/\text{кг}$.
5. Составлены карты и гистограммы распределения $\Sigma\beta$ -радиоактивности почвенного покрова г.Еревана за 1990 и 2002гг. Выявлено мозаичное распределение уровня радиоактивности на территории города. Крайние показатели по городу колебались в пределах $538\text{--}916\text{Бк}/\text{кг}$, $V=6,5\%$.
6. Сравнительный анализ $\Sigma\beta$ -радиоактивности почв 2002г. и 1990г. показал снижение уровня радиоактивного загрязнения в г.Ереване и увеличение площадей, характеризующихся естественным фоном ($500\text{--}600\text{Бк}/\text{кг}$): в 2002г. увеличилось число точек с естественным фоном – 25% количества проб (в сравнении с 1990г. – 7%). В 2002г. 65% проб показало $\Sigma\beta$ -радиоактивность $651\text{--}700\text{Бк}/\text{кг}$, а в 1990г. – 13% . Что касается высоких показателей (800 и более $\text{Бк}/\text{кг}$), то в 1990г. такой показатель отмечался у 11% проб; в 2002г. таких показателей не отмечено.
7. В образцах почв 2000г. определена концентрация ^{137}Cs . Перерасчет этих концентраций ^{137}Cs на 1990г. показал, что величина распада за 10 лет составила около 20% . Доля ^{137}Cs от $\Sigma\beta$ -радиоактивности в 1990г. составила $2,5\text{--}4,2\%$, в 2000г. – $2,0\text{--}3,4\%$. В 2002г. отмечено снижение уровня ^{137}Cs в сравнении с 2000г.
8. γ -спектрометрический анализ почв г.Еревана (2000г.) показал, что ведущую роль в формировании естественного радиоактивного фона играет ^{40}K , на долю которого приходится $84,7\%$ от суммы измеренных радионуклидов. Содержание ^{226}Ra и ^{232}Th составило $3,9\%$ и 7% от суммы соответственно; ^{137}Cs , ^{90}Sr – $2,6$ и $1,07\%$. Полученные данные коррелируют с результатами исследований атмосферных выпадений.
9. Исследования радиоактивности травянистых растений г.Еревана за 2000г. показали высокий уровень $\Sigma\beta$ -радиоактивности (в среднем $1460\text{Бк}/\text{кг}$) за счет техногенного загрязнения. Доля калия от $\Sigma\beta$ -радиоактивности – 51% , ^{137}Cs + ^{90}Sr – $1,8\%$. В 2003г. отмечено снижение уровня $\Sigma\beta$ -радиоактивности в сравнении с 2000г.
10. γ -спектрометрические измерения мхов (2000–2002гг.) показали, что они, обладая способностью к накоплению радионуклидов, в частности ^{137}Cs , могут служить индикаторами для целей радиоэкологического мониторинга территории г.Еревана.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В РАБОТАХ:

- [1] *Ананян В.Л., Налбандян А.Г.* К вопросу о техногенном загрязнении почв радионуклидами. – Тез. II Межд. совещ. "Геохимия биосферы", посвящ. памяти А.И. Перельмана. Новороссийск, 1999, с. 3–4.

- [2] *Ананян В.Л., Налбандян А.Г.* Радиоактивные измерения окружающей среды (атмосферные выпадения – почвы – растения) в Армении. – Сб. докл. Межд. семинара “Конверсионный потенциал Армении и программы МНТЦ”, ч. II. Ереван, 2000, с. 146-150.
- [3] *Ананян В.Л., Налбандян А.Г.* Об изучении атмосферных выпадений (отложений) в Армении. – Мат. межд. эколог. симпоз. “Перспективные информационные технологии и проблемы управления рисками на пороге нового тысячелетия”. Научные чтения “Белые ночи”. – СПб., 2000, с. 560-563.
- [4] *Ананян В.Л., Налбандян А.Г.* О Чернобыльских выбросах в почвах Армении. – IV Межд. экологическая конф. студентов и молодых ученых “Роль науки и образования для устойчивого развития на пороге 3-го тысячелетия”, т. 1. Москва, 2000, с.166-168.
- [5] *Налбандян А.Г.* К вопросу о β -активности почв г. Еревана. – Сб. статей молодых науч. сотр. Естественные науки. – Ереван, N1, 1999, с. 27-30.
- [6] *Налбандян А.Г.* О радиоактивности почв города Еревана. – Сб. тр. ЦЭНИ НАН РА “Вопросы экологии и охраны окружающей среды”, т. 4. – Ереван: Деп. в АрмНИИНТИ 10.08.99, N66-Ар99, 1999, с. 71-76.
- [7] *Налбандян А.Г., Ананян В.Л.* Суммарная β -активность – индикатор радиоактивного загрязнения почв. – Сб. мат. Республ. науч.-практ. конф. “Перспективы экологической науки на рубеже XXI века”. Ереван: Изд-во ЕГУ, 2000, с. 24-28.
- [8] *Налбандян А.Г.* Суммарная β -активность – оперативная методика экологической экспертизы загрязненных территорий. – Мат. II Республ. молодеж. науч. конф. “XXI век: экологическая наука в Армении”. Ереван: Изд-во “Гитутюн” НАН РА, 2001, с.55-56.
- [9] *Налбандян А.Г., Ананян В.Л.* О β -активности почв Араратской равнины. – Сб. статей молодых науч. сотрудников, 1(2). – Ереван: Изд-во “Гитутюн” НАН РА, с. 28-30.
- [10] *Налбандян А.Г., Ананян В.Л.* О радиоэкологических исследованиях почв г.Еревана. – Мат. II Республ. молодежной науч. конф. “XXI век: экологическая наука в Армении”. Ереван: Изд-во “Гитутюн”, 2001, с. 73-78.
- [11] *Налбандян А.Г., Кюрегян А.А., Степанян А.А.* Об использовании мхов в качестве индикаторов радиоактивного загрязнения окружающей среды. – Мат. III республ. молодеж. конф. “XXI век: экологическая наука в Армении”. – Ереван: Изд-во ЦЭНИ НАН РА, 2002, с. 94-99.
- [12] *Налбандян А.Г.* О содержании ^{137}Cs в почвах г. Еревана. – Мат. IV республ. молодеж. конф. “XXI век: экологическая наука в Армении. Проблемы экологии городов”. – Ереван: Изд-во ЦЭНИ НАН РА, 2003, с. 218-219.
- [13] *Ananyan V.L., Nalbandyan A.G.* On atmospheric deposits in Yerevan city. 1969-1998. – Abst. of the Intern. conf. “Modern problems of radiobiology, radioecology and evolution” dedicated to the Centenary of birth of N.W. Timofeeff-Ressovsky. Dubna, Russia, IINR, 2001, p.171.
- [14] *Nalbandyan A.G.* Radioecological studies in Yerevan city, Armenia. – Intern. Conf. on Radioactivity in the Environment. Monaco, 2002, pp. 137-140.
- [15] *Nalbandyan A.G., Karapetyan A.M.* Investigations of soil radioactivity levels in Yerevan, Armenia from 1990 to 2002. – VI Intern. Symp. and Exhibit. on Environmental contamination in Central and Eastern Europe and the Commonwealth of Independent States. Prague, 2003, p.197.
- [16] *Nalbandyan A.G., Karapetyan A.M.* Investigations of soil radioactivity levels in Yerevan city from 1990 to 2002. – Radiobioassay and Radiochemical Measurements conference (RRMC), Jackson Hole, Wyoming, 2003, pp. 115-119.
- [17] *Նալբանդյան Ա.Գ., Ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունների հող-բույս համակարգում / «Գիտություն և տեխնիկա» անազիր, N4, 2004, էջ 26-29:*

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Շրջակա միջավայրի աղտոտումը ռադիոակտիվ նյութերով մեծ ուշադրություն է գրավում՝ կապված ատոմային արդյունաբերության, էներգետիկայի զարգացման, միջուկային զենքի փորձարկումների, ինչպես նաև միջուկային տեխնոլոգիա ունեցող երկրների շրջանակի ընդլայնման և միջազգային ահաբեկչության իրական վտանգի հետ: Ուղիղնուկլիդների երկարատև ներթափանցումը ատոմային էլեկտրակայաններին կից գտնվող էկոհամակարգեր (նույնիսկ խիստ վերահսկողության պայմաններում) հանգեցնում է ռադիոնուկլիդների բարձր պարունակությամբ գոտիների ձևավորմանը: Այս առումով, ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունները Երևան քաղաքի տարածքում, որը գտնվում է Հայկական ԱԷԿ-ից 30կմ հեռավորության վրա, խիստ կարևոր են և արդիական:

Աշխատանքի նպատակն էր. գնահատել Երևան ք. շրջակա միջավայրի ռադիոակտիվ աղտոտման մակարդակը, ստանալ ռադիոնուկլիդների բաշխման ժամանակակից պատկերը քաղաքի տարածքում: Այդ նպատակով կատարվել են՝

- ա) Երևան ք. տարածքում մթնոլորտային տեղումների, հողերի և բույսերի գումարային ռադիոակտիվության մակարդակի և ռադիոնուկլիդային կազմի հետազոտություններ,
- բ) մթնոլորտային տեղումների գումարային β -ռադիոակտիվության դինամիկայի վերլուծություն (1969-2001թթ.),
- գ) հողային ծածկույթի գումարային β -ռադիոակտիվության փոփոխման համեմատական վերլուծություն (1990-2002թթ.),
- դ) հողերի գումարային β -ռադիոակտիվության տարածական բաշխման քարտեզագրում (Մ 1:10000):

Առաջին անգամ Երևան ք. տարածքում անց են կացվել համալիր ռադիոէկոլոգիական հետազոտություններ, մասնավորապես՝

- կատարվել է «մթնոլորտային տեղումներ – հող – բույս» համակարգի ռադիոակտիվության համալիր գնահատում,
- բացահայտվել է Երևան ք. տարածքում ռադիոնուկլիդների բաշխման տարածամասնակային դինամիկան մթնոլորտային տեղումներում (1969-2001թթ.) և հողային ծածկույթում (1990-2002թթ.),
- կազմվել են Երևան ք. հողային ծածկույթի գումարային β -ռադիոակտիվության բաշխման քարտեզներ (Մ 1:10000):

Բացահայտվել է, որ Երևան ք. մթնոլորտային տեղումների $\Sigma\beta$ -ռադիոակտիվության մակարդակի աճը զուգակցվում է Երկրագնդի տարբեր շրջաններում միջուկային փորձարկումների անցկացման տարիների հետ: 1969-1983թթ. արձանագրվել է գումարային β -ռադիոակտիվության մակարդակի նշանակալի տատանումներ (111-1857 Bq/m^2 / տարի), իսկ 1989-2001թթ. գրանցվել է ռադիոակտիվության մակարդակի նվազում (307-355 Bq/m^2 /տարի): Նմանատիպ միտում է գրանցվել ^{137}Cs և ^{90}Sr որոշման արդյունքում: Ըստ 2000թ. տվյալների, մթնոլորտային տեղումների հիմնական ռադիոնուկլիդային կազմը հետևյալն է՝ ^{40}K , ^{238}U (^{134}Th , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb) և ^{232}Th (^{228}Ac , ^{212}Pb ,

^{206}Tl , ^{90}Sr , ^{137}Cs :

Երևան ք. հողային ծածկույթի ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունները հանգեցրեցին հետևյալ դրույթներին.

- Գումարային β -ռադիոակտիվության որոշումը կարող է ծառայել աղտոտված տարածքների ռադիոէկոլոգիական փորձաքննության օպերատիվ մեթոդ:
- 1990թ. գումարային β -ռադիոակտիվության մակարդակը տատանվել է 538-916 Bq/kg սահմաններում՝ կրելով խճանկարային բնույթ:
- 2002թ. և 1990թ. համեմատական անալիզը ցույց է տվել β -ռադիոակտիվության մակարդակի նվազում և ֆոնին մոտ (500-600 Bq/kg) տարածքների ափելացում:
- Որոշվել է ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{90}Sr , ^{137}Cs ռադիոնուկլիդների պարունակությունը: Ստացված տվյալները զուգակցվում են մթնոլորտային տեղումների արդյունքների հետ:

2000թ. բույսերի ռադիոէկոլոգիական հետազոտությունները ցույց են տվել գումարային β -ռադիոակտիվության բարձրացում (1460 Bq/kg)՝ տեխնածին աղտոտման հաշվին, իսկ 2003թ.՝ որոշակի նվազում (1186 Bq/kg):

2000-2003թթ. կատարված մամուլների հետազոտությունները ցույց են տվել, որ նրանք օժտված են ռադիոնուկլիդների ^{137}Cs -ի կուտակման հատկությամբ և կարող են օգտագործվել որպես ռադիոէկոլոգիական մոնիթորինգի ինդիկատորներ:

Երևան ք. հողային ծածկույթի գումարային β -ռադիոակտիվության բաշխման քարտեզը (Մ 1:10000) ընդգրկված է Երևան ք. նոր Գլխավոր հատակագծում (2003թ.):

Աշխատանքում շարադրված դրույթները և եզրակացությունները կարող են օգտագործվել.

- քաղաքակենտրոնացված տարածքներում՝ ռադիոէկոլոգիական մոնիթորինգի ուղղությամբ միջոցառումների մշակման և կիրառման համար,
- մշակված ռադիոէկոլոգիական գնահատման մեթոդը՝ գումարային β -ռադիոակտիվության ցուցանիշի կիրառմամբ, կարող է օգտագործվել արագ ռադիոէկոլոգիական փորձաքննություն անցկացնելու համար:

1953